

見えない粒子の世界の現象をみんなで演じて理解する 擬人化体感学習の利用方法

吉川 直志・大西 菜々*・河合 桃子**

How to Use the Physical Feeling Study by the Personification to Understand the Phenomenon in the World of Invisible Particles

Tadashi YOSHIKAWA, Nana ONISHI and Momoko KAWAI

要旨

目に見えない小さな「粒子」のミクロの世界の出来事は、その粒子が数多く集まることで私たちが知るマクロの現象へとつながる。この見えない粒子の存在をイメージ出来ることがより正しい現象の理解へとつながる。しかし、目に見えない粒子の世界をイメージすることは難しい。この研究では、「粒子」を一人一人が演じることで全体のふるまいをみんなで再現する擬人化による体感学習の方法を、名古屋女大学の学生が自分たちで主体的に考え行っていたいくつかの例を紹介する。自分たちで見えない粒子の世界を再現することでその現象を粒子イメージにより理解する主体的な学びの方法として提案する。

1. はじめに

私たちの身のまわりの現象は全て目に見えない小さな粒子のふるまいによって起こっている。そこにはミクロの世界の「粒子」が存在し、その粒子がたくさん集まることで目に見える存在となる。様々な自然現象を理解するためには、この目に見えない小さな粒子の動きをイメージし、その動きが集まって全体の動きとなることを想ですることが必要となる。しかしながら、目に見えない「粒子」の存在やその動きをイメージすることはとても難しく、これまで理科を学んできているはずの名古屋女子大学の学生であっても正しくイメージできているとは言えない。そこで、イメージしやすいようにする働きかけが必要となってくる。これまでに我々は擬人化体感学習として、粒子の世界の現象をイメージで捉えることが容易になるように、自分でコントロールできるスケールの世界、つまり、自分の体の大きさのスケールで粒子の振る舞いを考え、粒子の世界で起こっている現象を自分たちで表現し、実際の全体での振る舞いとのつながりを想像する学習方法^(1 2 3)を検討してきた。そもそも、この学習方法は子どもたちが目に見えない小さな世界の出来事を自分の動きを通して体感することで、粒子をイメージしやすくすることを念頭において進めてきた。しかし、理科を教える立場となる教員にこそ正しいイメージで「粒子」による現象を理解することが必要であるという思いに至った。小学校教員を

* 新東通信、** 春日井市立石尾台小学校

目指す名古屋女子大学の学生であっても粒子の動きによる現象理解はできておらず、目に見えない粒子の世界を正しくイメージできていない。そこで、まず、名古屋女子大学の学生で、粒子の存在を想像し、自分たちで現象を表現することによって現象を理解していく主体的な学習方法を試していくことになった。この論文では、小学校教員を目指す大学生がみんなで粒子になって動き、自分たちがその全体の動きを想像しながらみんなで動いて現象を表現することで、粒子による現象の理解につなげていく擬人化体感学習の試みを紹介する。

この擬人化体感学習と同じ考え方による学習方法として、磁石や核分裂での例が（板東，2010）⁽⁴⁾において紹介されている。また、これまでに我々も波を伝える物の擬人化（吉川，2013）⁽¹⁾や水の三態変化（森石，2012）⁽²⁾，（吉川，香川，森石，山本，2014）⁽³⁾を水の「粒子」となって表現する方法、さらに水の三態変化を基にして雲や雨を表現（吉川，石川，加藤，竹村，2015）⁽⁵⁾することについて紹介してきた。これまでの研究の中で、自分たちでやることで表現する方法とその現象の両方の理解が進むことも分かってきた。そこで、これらの研究を踏まえ小学校教員を目指す名古屋女子大学の学生が理科で学ぶ現象を自分たちで粒子となり現象を表現し、理解しやすい方法を自分たちで考えながら利用方法を検討していくことになった。この論文では、2章で、名古屋女子大学の児童教育学専攻の学生に対して行ったアンケートにより、学生の持つ粒子のイメージの現状を報告する。3章では、擬人化体感学習を用いた現象の表現を学生が自分たちで考えながら表現した実践例を紹介する。水の三態変化、びんの中のろうそくの燃え方、電気回路に三つについてそこから粒子の存在を体感することを考える。4章で、擬人化体感学習の利用方法について今後の展望についてまとめる。

2. 見えない粒子の世界の理解

私たちは小学校から理科を学び、その後、中学校、高校で原子や分子など目に見えない小さな粒子の存在を学ぶ。しかしその粒子の存在の仕方やその動きが、私たちが知っている現象へとつながっているという考えには至っていない。つまり、粒子概念を持つことは難しいということである。そこで、名古屋女子大学の学生の持つ粒子のイメージを、それぞれの現象について粒子の絵を書いてもらうアンケートによって調査を行ってきた。その結果によると、現象自体の理解はあるものの、それを粒子の存在や動きと関連させて考えられるまでには至っていないことが分かった。つまり粒子のイメージを持つまでには至っていないということである。ここで、これまで行ってきた学生へのアンケートとその結果から学生が持つ粒子イメージについて以下に紹介する。

（1）平成25年7月に名古屋女子大学文学部児童教育学科1年生の92名にとったアンケートで、水が氷になると体積が増えることを粒子により表現してもらおうと、学生の持つイメージのほとんどは、粒子の数が増える、または粒子自体の大きさが大きくなるといった誤った表記であった（図1）。この結果は（吉川，石川，加藤，竹村，2015）⁽⁵⁾

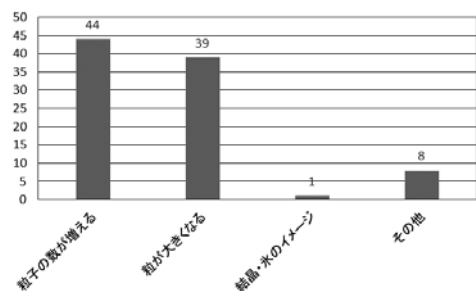


図1：水から氷になった時の水粒子による表現のアンケート結果（平成25年7月実施：文学部1年生92名）

で紹介した。同様のアンケートを平成26年7月に名古屋女子大学文学部児童教育学科1年生の74名に行った。この時も水が氷になると体積が増える現象を水の粒子による絵で表現してもらったが、今回は、粒子による表現をそれほど強調せず書いてもらったところ、粒子を絵で表した学生の多くは前回と同様に、粒子の数が増えたり、粒子が大きくなるという表現が多く、その他には水では粒子で表していても、氷になると粒子が無くなってしまったり、氷のキューブによる表現なども多く見られた(図2)。これらの結果から解ることは、一つ一つの粒子の存在や質量保存につながる粒子の数は変わらないことへの理解が甘いということと、見えない粒子よりは見える氷のイメージが強いことが考えられる。

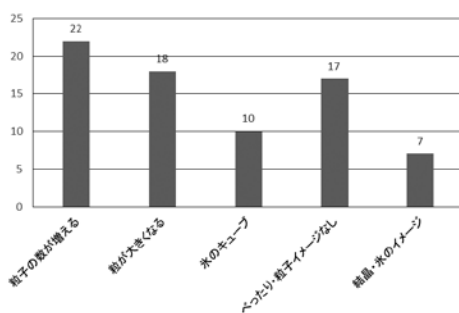


図2：水から氷になった時の氷の表現のアンケート結果（平成26年7月実施：文学部1年生74名）

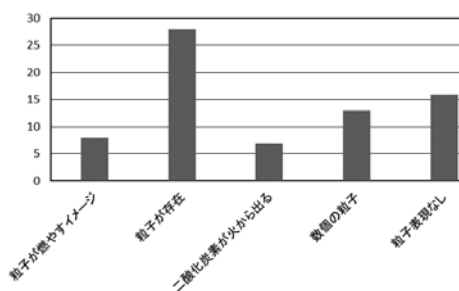


図3：ろうそくを燃やす粒子アンケート結果（平成26年7月実施：文学部1年生74名）

(2) 平成26年のアンケートでは、ろうそくが燃える様子を粒子の絵で表すアンケートも行った(図3)。単純に酸素を○、二酸化炭素を△として記入し、ろうそくを燃やしている状態を聞いた。びんのふたにすき間がある場合の回答例を図4に示す。大きく分けてタイプは4つあり、タイプA：酸素が火を燃やしているイメージ、タイプB：粒子は存在しているが動きはなし、タイプC：二酸化炭素が飛び出すイメージ図、タイプD：数個の粒子のみが矢印で移動する図、に分けられた。空気中の酸素が火を燃やして二酸化炭素が出ることは良く知っていることであるため、酸素、二酸化炭素の粒子が存在する表現は多かったが、粒子が火を燃やしているという表現は少なかった(図4)。ちなみに、十分に新しい空気(酸素)が入ってこないとうろうそくは燃え続けない。びんのふたに少しだけすき間があっても中の酸素を使うといずれろうそくの火は消える。今回のアンケートではそこまでの回答はなかった。

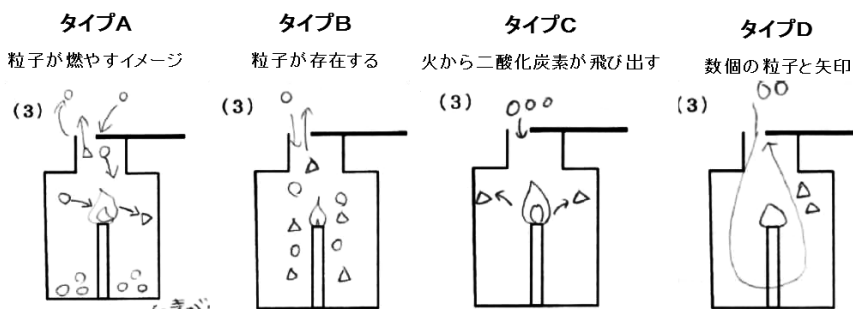


図4 びんの中のろうそくのアンケートタイプ別回答例

（３）電気回路の導線を流れる電流を絵で表すアンケートも同時に行った。電気回路は小学校３年生から学ぶ。電気回路に電流が流れることはよく知っている。中学では電子の存在も学び、電気の素も知っている。そこで、学生が持つ乾電池で豆電球を光らせる電気回路内の電流の流れ方のイメージをアンケートにおいて絵で表してもらった（図５）。平成26年度と平成27年度の児童教育学専攻１年生へのアンケート結果（図６、図７）では、ほとんどの回答が矢印だけで表現し、水流のような「流れ」のイメージであることが分かった。大学生であるので、電子についても補足説明してアンケートに回答してもらったが、「電気」のイメージは電池から流れ出るものとしての矢印による

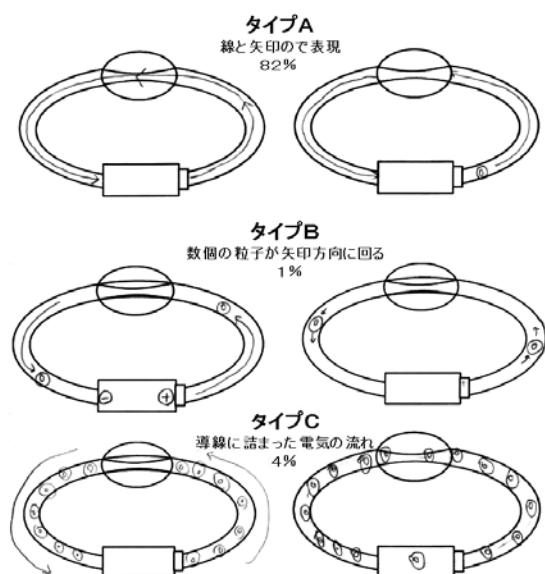


図５ 回路を流れる電気のイメージアンケートタイプ別回答例

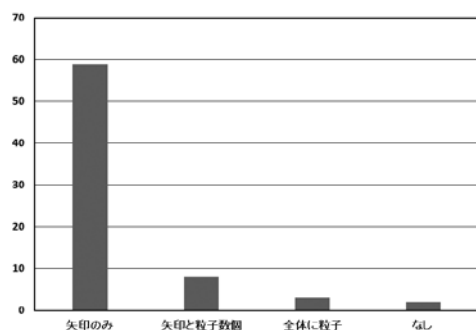


図６：電気回路を流れる電気（電子）のイメージアンケート結果（平成26年７月実施：文学部１年生74名）

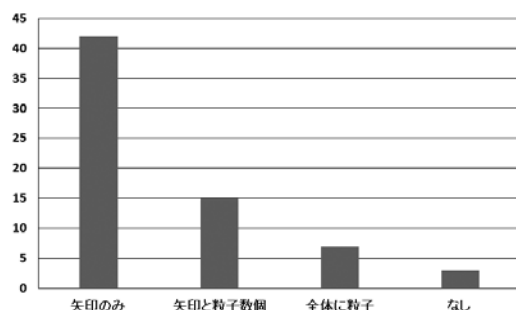


図７：電気回路を流れる電気（電子）のイメージアンケート結果（平成27年７月実施：文学部１年生67名）

表現が多く見られた（図５）。回答の８割がタイプＡの矢印のみで電流を表したものであった。少数の回答として、タイプＢでは数個の粒子が書かれているものの矢印で表記されている。そして実際の電流イメージに近いタイプＣとなる。実際の電気回路では、導線（金属）内に電気（自由電子）が詰まっており、それを電池が押し出すことで全体が回るように流れている。回路（輪）になっていないと電流が流れないのはこのためである。電気の素は電子という粒子であり、これがたくさん集まって順にゆっくり動くことで電流となる。こうした電気のイメージも正しい理解には必要になると考えている。例えば、家庭に来ている交流電気は遠くの発電所から送電されており、これを理解するには、既に目の前の導線内に電気の素が詰まっており、これがつながった先で押し出されることで、どんなに遠くで送電されても一瞬で電気が流れると考えられる。交流の理解も流れる方向を瞬時に変えることを考えると粒子イメージの方が、

都合が良いと考えられる。

小学校教員を目指す学生は、より正しい理解に基づいて理科を教えられるように、粒子イメージを持って現象を理解できるようになる必要があると考える。我々が提案する擬人化体感学習では、一人一人が粒子となって演じるために、粒子の数が変わったり、個々の重さや大きさが変わったりしないという保存則を守って行うことができ、正しい理解へと導けると考える。そこで、名古屋女子大学の学生と共に、擬人化体感学習を利用することで理解が進むコンテンツの拡充とその方法の検討を行っていくことにした。

3. 擬人化体感学習の実践

これまでに提案してきた擬人化体感学習の方法は、(吉川, 香川, 森石, 山本, 2014)⁽³⁾で小学校の理科で登場する内容の中で利用できるコンテンツをリスト^(6 7)し、(吉川, 石川, 加藤, 竹村, 2015)⁽⁵⁾でその利用例^(8 9 10)を紹介してきた。この論文ではこれまでの検討を踏まえ、擬人化体感学習の利用方法を検討し粒子を演じる学生の理解の進み方という視点に立って、いくつかの実践例について紹介する。

(1) 水の三態変化の擬人化表現

水分子一つ一つは目に見えないが、それが多く集まった水の存在は分かる。水を温めると体積が増加し、冷やすと体積が減る。しかし、さらに冷やして水が氷になると体積が少し増加する。この現象を自分たちが水分子を演じながら全体で現象を表現する。この水の三態変化での実践とその応用である雲や雨のでき方や水の循環での利用検討については(吉川, 石川, 加藤, 竹村, 2015)⁽⁵⁾で紹介した。自分たち一人一人が水粒子になって、水から水蒸気、水から氷へと状態が変化する様子をみんなで再現した。水は人間の水分子の集まりとして表現し(図8)、温度が下がるとだんだん動かなくなり集まって全体の広がり小さくなる。つまり、体積が収縮し、その後、さらに冷えて氷の結晶となって全体の体積は増加することになる。このとき6人で氷の結晶(図9)になっていくことで間に空間ができ、広がりながらつながることで体積が増える様子を自分たちで表現できる。人数が増えることなく、微視的な見方を基に自分たちで演じて氷の体積が増えることが理解できる。

平成25年のアンケート後に、みんなで実際に表現することを行った。その後、再度アンケートを実施したところ、氷の絵の結果は完全ではないが多くが



図8：一人一人が水分子を演じて水の状態を表現



図9：冷された水分子がつながり氷の結晶(六角形)になって少し広がったことを表現

6 角形の結晶による氷の絵として回答した（図10）。この実践から、自分たちで現象を考えながら動くことで、水や氷のイメージを持てることが分かった。また、自分たちが演じたり、人が演じている様子を映像で見たりするだけでも全体の動きを知りつつ一人一人の動きを考えることができることから、自分たちで演じてみることに映像として見るのが相補的であると考えに至った。

また、水の三態変化の擬人化表現では一人一人の動きの激しさが「熱」を表している。温めて熱を与えると一人一人の動きが活発になり、お互いにおぶつかることで間隔が広がって、全体で膨張する。逆に冷やして熱を奪うと動きが緩慢になりだんだんと集まって全体で収縮する。この動きの中でイメージし難い「熱」の伝わり方も含まれていることになる。ここから、熱のイメージにつなげることも可能であると考ええる。

この水の三態変化での擬人化体感学習の利用は、学生の正しいイメージ作りに効果的であると考えている。特に、自分たちで映像を見て、実際の現象と自分の動きとを比較しながらその表現を考えることでより理解が深められるだろう。

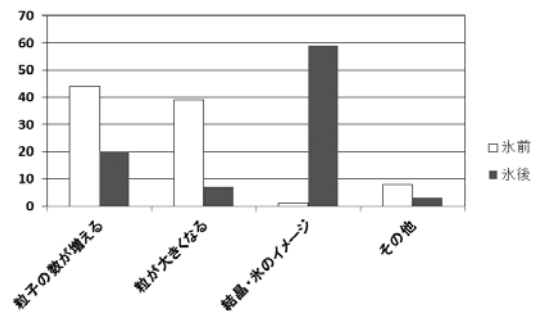


図10：水から氷になった時の水粒子による表現の体感学習後のアンケート結果

（2）ものの燃え方の擬人化表現

見えない空気中に酸素や二酸化炭素が存在し酸素が物を燃やす働きをすることを、小学6年生の理科で学ぶ。その後、酸素、窒素、二酸化炭素の分子が粒子として空気中に存在することを学んでいくのだが、それがどのように存在し、物を燃やす時に働くのかというイメージまでは持てていないと思える。ものが燃えるとき酸素が減って二酸化炭素が増えると学ぶが、燃えている火の中で起こっていることまでは見えないために想像することは難しい。前章のアンケート結果（図3）からも、存在は知っているがそのびんの中に存在している様子やどう働いているかまでのイメージは持てて

いないことが分かる。そこで、びんの中でろうそくを燃やした時の様子をみんなで表現してみることにする。今回は、表現方法を自分たちで考え工夫しながら行ってもらった。びんの中で燃えるろうそくの火のまわりで起こる粒子の世界の出来事を図11のような方法で表現した。かなり簡素化しているが、酸素分子を二人で O_2 とし（図11左上）、ろうそくから黄色のTシャツを着た学生の炭素Cが酸素 O_2 に捕まることで燃えて、二酸化炭素 CO_2 （図11左下）となって外に出ていく。びんの中の酸素が減ってくるといずれ火は消える。こうして、びんの中に酸



図11：ろうそくの火の擬人化表現 左上：二人で酸素。右：ろうそくから出る炭素を酸素が捕まえて二酸化炭素に変わる。左下：二酸化炭素

素が減って、二酸化炭素が増えることを自分たちで表現していく。この表現方法でも、粒子数保存は守られることが実感できるだろう。また、ろうそくの火の中で起こっていることのイメージにもつながると考えられる。この実践で学生たちは、「酸素の動き」「炭素の動き」など想像して動き方を表し、個々の粒子のイメージを持って演じていた。またびんの中の粒子をどう表現すればよいかを自分たちで考え主体的に進めることで現象の理解につながっていた。この方法は、空気の中の見えない粒子を想像し、存在を考えながらその動きをイメージするために有効な方法であると言える。

この表現方法を基に、様々な化学変化や化合、分解、イオン表現なども同様に表現できる。絵に書いてみることに加えて自分たちが動くことで、粒子数保存や化学変化の様子を考えながら、その理解の助けができるのではと期待する。

(3) 電気回路の擬人化表現

電気回路の導線を流れる電流をイメージすることはとても難しい。物理的な理解を進めるならば、導線（金属）内に詰まった電気（電子）が押されることで全体が流れるというイメージが持てることが良いと考える。そこで、みんなで電気となってつながり、電気回路の輪の中の電気一つ一つとなって表現する（図12）。導線内に詰まった電気を青いTシャツを着た学生が演じ、手をつないで輪になることで回路となり、電池（電源）がその輪（の電気の肩）を押して回し、輪の回り方で電流を表現する。電気抵抗は黄色のTシャツを着た二人がゲートとなって輪の通りにくさを変えて表した。この表現方法は（吉川，石川，加藤，竹村，2015）⁽⁵⁾で紹介したが、今回はその時の映像を見て自分たちで理解が進むように工夫して実践した。電気抵抗役のゲートの間を広くすると、電気抵抗が小さくなり輪の回転は速くなるが、抵抗の間を狭くすると通りにくくなり輪が回る速度が遅くなる。この変化により、電気抵抗による電流の大きさの変化を物理的に実感できる。また、電流のイメージも持つことができ、そのイメージも矢印から、粒子の流れへと変わると思われる。

また、学生が苦手と考える電気抵抗の直列と並列の回路の電流の流れの表現も実践してみた。豆電球の直列と並列つなぎでは、並列つなぎの方が明るく光る。この考え方がなかなか学生にとって難しい。そこで直列回路と並列回路での電流の違いを実感できないかを考えて表現した。図13のように、電気抵抗を2か所配置し、電気の輪が両方を通るようにして、直列つなぎを表現する。二か所のゲートを通るため自然と回る速さがゆっくりとなる。直列つなぎでは、抵抗1個の回路より電流（回る速さ）が小さくなることを実感する。このことを覚えている内に、並



図12：電気回路の擬人化表現 回路の電気となって輪になり、電池が輪を回す。電気抵抗（豆電球）は通りの幅が狭くなったところ。



図13：抵抗二つの直列つなぎ電気回路の表現。電気の輪が二か所の電気抵抗のゲートを通る。

列回路の表現を行う。図14のように並列つなぎを表す。人数の関係で見にくいですが、それぞれの輪が電池で回され、電気抵抗のゲート一つを通過する。それぞれの輪が独立に回る様子を自分たちで再現する。また、この時に電流の回り方が遅くなることはなく、直列回路よりかなり速く回ること、並列つなぎの方が大きな電流が流れることが分かる。つまり、並列回路の豆電球の方が大きな電流で明るく光るというイメージにつながる。

見えない導線内を流れる電流を自分たちで演じて表現することで、実際の物理的理解に結び付けられると期待できる。この表現を基に、さらに自分たちで電気の現象を表現し、みんなで表現することにより理解が進められると考えている。例えば、小学校で登場するコンデンサー、LEDなどの中で何が起きているのかを考えながら表現したり、交流の流れ方を回路になって左右に周期的に回ることを実感することで理解につながるのではと考えている。自分の動きとみんなで作った輪の動きを実感し、その映像で抵抗の大きさに輪の回る速さが変わる様子を見てさらに理解を深めるという活動となる。



図14：抵抗二つの並列つなぎの電気回路を表現。電気の輪が二つとなりそれぞれが電気抵抗のゲートを通る。

4. 擬人化体感学習の利用

このように、自分たちが粒子となって現象を表現することを基に、様々な現象を自分たちでその粒子となって表現できないか考えてみるという活動により、擬人化体感学習の可能性が広がると考えている。その基本的な粒子の動きの表現を基にして、他の現象理解へとつなげることも十分可能となっている。こうした基本的な理解を基に、粒子の集団的な振る舞いを記述する統計力学や、小さな粒子の動きを記述する量子力学における現象理解にもつなげていくことを、この方法の将来の展望として持っている。

現在、この方法は名古屋女子大学の学生に対してのみ実践してみたところ、粒子的見方考え方による現象の理解が進んだと感じた。理科で学ぶ現象を、自分たちの体を使ってどう表すかを考え、実際に自分たちで表現してみることによって、粒子イメージを持った理解につながっていく。見えない粒子になって自分たちが動いて表現することを考え、現象と比較しながらやってみることで、ただ、その現象を教わり、知識として知るだけでなく、粒子のイメージを持った理解につながっていく。

この方法の利用で、小学校3年生で学ぶ単元においては、物は小さな「粒子」の集まりであることを体感することに使える。それを基に、高学年の理科の内容において、水や空気、そして電気の個々の「粒子」の動きが全体の振る舞いへとつながっていくことの再現で利用できる。そして、複数の種類の「粒子」による混合状態や結合を粒子レベルで扱うことで、実際の複雑な現象においてもこの方法が理解の助けとなる。擬人化体感学習を取り入れる場合、どの単元からでも可能であるが、基本となる粒子による表現を基に、様々な現象の表現へとつなげることでより深い理解が得られると期待できる。そして、大学生にとっては、小中学校でこれまで学んできた理科の内容を、粒子的見方考え方を基にして系統的に理解できることになる。この

方法の利点は、見えない世界の出来事を、実感を持って想像できるところにある。見えない粒子の動きを自分の動きとして想像し、正しくイメージできれば、理科を教える立場となった場合には、具体的な例を使って教えることにつながっていくと期待する。この方法はあくまで、現象の起源となる「粒子」を自分の体で演じることで、見えない世界の出来事を自分の動き方によりイメージし現象の理解の助けとするものと考えているが、その利用による効果については、今後、検証していきたいと考えている。

5. まとめと今後の展開

目に見えない粒子の世界を擬人化して自分がコントロールできるスケールで動き、それが集まった全体の動きとして考えることができれば、粒子が存在し、それぞれのミクロな動きが集まって一つのマクロな現象となることの理解へとつながる。そして、その理解が進めば、粒子的に考えて理解できるようになる。ここで紹介した擬人化体感学習は実際の自然科学の学びを補助する手段であり、個々の理解度に合わせて使い方を変える必要がある。しかし、自分たちで主体的に現象を表現することを考えることは粒子的見方考え方を養うことにつながるだろう。この見方考え方が出来れば、それを基に他の現象についても容易にイメージを持って予想できるようになると期待する。この論文では、名古屋女子大学の学生が自ら表現と実践方法を考えながら水の三態変化、ものの燃え方、そして電気回路の擬人化表現を行ったことを紹介した。学生へのアンケート結果からは、学生が持つ粒子イメージは乏しいものであったが、この実践を通して自分が粒子としてそこにいることでしっかりと粒子の存在イメージを持てるようであった。また、映像を見ることで全体の動きと現象の結び付きも進み理解につながっている。このように我々が提案している擬人化体感学習は、自分たちで動き体感し、映像で確認することで相補的に現象と結び付けることができる。

今後、粒子的見方考え方による理解が必要な全ての内容について擬人化体感学習の方法の利用を検討し、それぞれの表現方法を映像資料として作っていくことを考えている。その映像資料を基に、この方法を利用する人が個々に表現方法を考えながら擬人化体感学習の利用方法を発展させてもらいたいと考える。この方法は「粒子」を基とする自然現象全てについて適応できると考えられ、適用できるコンテンツを増やすことが可能である。今後、その可能性を研究していく。見えない粒子の微視的なミクロの世界と、全体の振る舞いである巨視的なマクロの世界を結びつけて理解するために統計力学が使われる。この擬人化体感学習による方法は、統計力学を極力単純化したものであるとも言える。また、LEDの回路の擬人化などで電子や光を扱う場合には微視の世界を記述する量子力学にも出会うことになる。こうした視点から、この見えない粒子の世界を理解する方法を、理系大学で学ぶ難解な物理学に文系学生がアプローチする方法とできるのかの検討も進めていきたいと考えている。

謝辞

この研究は、理科教育（物理）研究室の学生と共に行いました。擬人化手法の検討においては、ゼミ生の岡愛由美 氏との共同研究となります。擬人化の手法のテストに参加し、有益な

意見を頂いた研究室の卒業生や児童教育学専攻の学生の皆さんに感謝します。

本研究は、JSPS科研費24501070の助成（日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究C）「みんなで粒子を演じる体感型理科教育の方法」課題番号24501070）並びに、平成27年度 名古屋女子大学 教育・基盤研究助成費による助成（「見えない粒子の世界をみんなで演じて現象を理解する擬人化体感学習の利用方法」課題番号2704）を受けたものです。

参考文献

- （1）吉川直志：理科教育における擬人化による体感学習の可能性, 名古屋女子大学紀要 第59号, 13-20 (2013).
- （2）森石, 石原, 大町, 香川, 加藤, 山本, 吉川：小学校理科における「粒子」を理解する擬人化体感学習の可能性, 日本理科教育学会第58回東海支部大会研究発表予稿集 A01 (2012).
- （3）吉川, 香川, 森石, 山本：小学校理科における擬人化体感学習の利用の検討, 名古屋女子大学紀要 第60号, 1-10 (2014).
- （4）板東, 山下, 上田, 石尾, 川村, 前：擬人化と体験学習, 京都大学高等教育研究第16号, 49-60 (2010).
- （5）吉川, 石川, 加藤, 竹村：見えない粒子の世界をみんなで演じて理解する方法の提案, 名古屋女子大学紀要 第61号, 15-25 (2015).
- （6）吉川, 香川, 森石, 山本：理科における擬人化体感学習の提案, 日本科学教育学会研究会研究報告 Vol.27 No.5, p73-76 (2013).
- （7）吉川, 石川, 加藤, 竹村：理科における「粒子」イメージを持たせる擬人化体感学習の提案, 日本科学教育学会第37回年会, 年会論文集 37 P349-350 (2013).
- （8）竹村, 石川, 加藤, 上野, 金井, 酒井, 澤田, 吉川：みんなで粒子を演じて現象を理解する擬人化体感学習の利用方法, 日本理科教育学会第59回東海支部大会研究発表予稿集 B05 (2013).
- （9）大西, 河合, 安藤, 勝島, 岡, 吉川：見えない粒子の世界をイメージさせる擬人化体感学習の提案, 日本理科教育学会第60回東海支部大会研究発表予稿集B10 (2014).
- （10）吉川, 石川, 加藤, 竹村, 大西, 河合：見えない粒子の世界をイメージさせる擬人化体感学習の提案, 日本理科教育学会第65回全国大会研究発表予稿集01A04 (2015).